

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-184766

(43)Date of publication of application : 28.06.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
B01J 19/08
B01J 19/12
H05H 1/46

(21)Application number : 2001-275893

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 12.09.2001

(72)Inventor : KADOYA MASAHIRO
YASUI HISATERU
WATANABE SEIICHI

(30)Priority

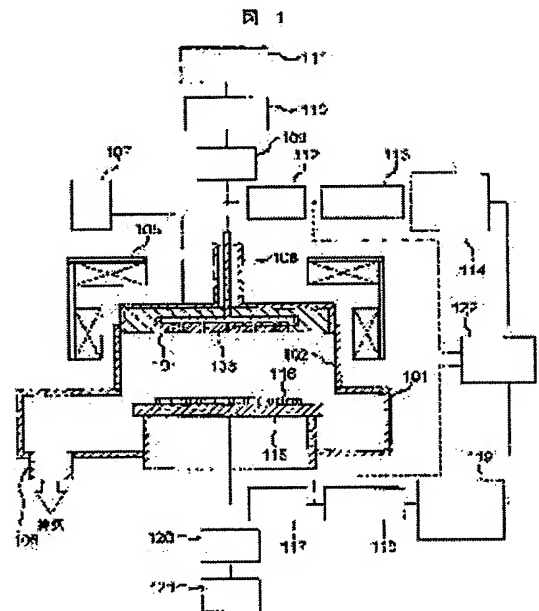
Priority number : 2000276667 Priority date : 12.09.2000 Priority country : JP

(54) APPARATUS AND METHOD FOR PLASMA PROCESSING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress charging damage in plasma processing.

SOLUTION: The phases of high-frequency biases applied respectively to a substrate electrode 115 and an antenna electrode 103 opposite with the substrate electrode are controlled to have either of the electrodes serve as the ground at all times.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-184766

(P2002-184766A)

(43) 公開日 平成14年6月28日 (2002.6.28)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/3065

B 0 1 J 19/08

E 4 G 0 7 5

B 0 1 J 19/08

19/12

C 5 F 0 0 4

19/12

H 0 5 H 1/46

C

H 0 5 H 1/46

L

H 0 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-275893(P2001-275893)

(22) 出願日 平成13年9月12日(2001.9.12)

(31) 優先権主張番号 特願2000-276667(P2000-276667)

(32) 優先日 平成12年9月12日(2000.9.12)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 角屋 誠浩

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸事業所内

(72) 発明者 安井 尚輝

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸事業所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

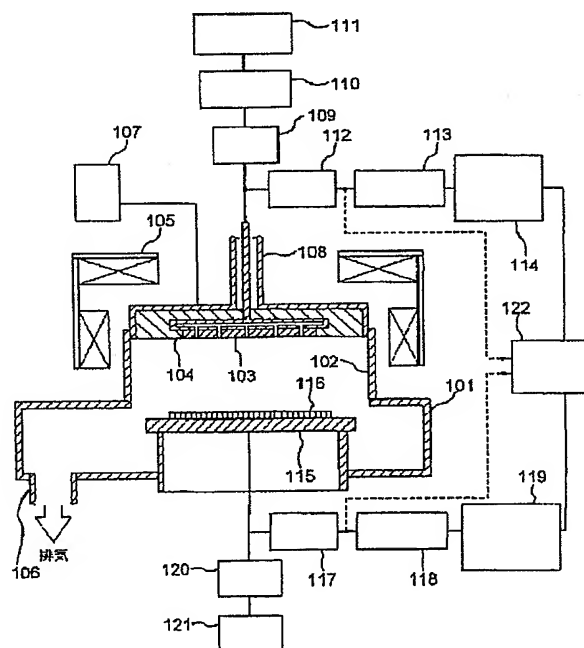
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置および方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマ処理におけるチャージングダメージを抑制する。

【解決手段】 基板電極115と該電極に対向するアンテナ電極103にそれぞれ印加する高周波バイアスの位相を制御し、両電極のいずれか一方に常にアースとしての機能を持たせる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する逆位相となる他の高周波電力は、 $180^{\circ} \pm 45^{\circ}$ の範囲内であるプラズマ処理方法。 10

【請求項 3】 請求項 2 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する逆位相となる他の高周波電力は、 $180^{\circ} \pm 30^{\circ}$ の範囲内であるプラズマ処理方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5 MHz 以下の同一周波数とするプラズマ処理方法。

【請求項 5】 請求項 1 記載のプラズマ処理方法において、前記プラズマは高周波電力と磁場を用いて生成されるプラズマ処理方法。 20

【請求項 6】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、両電極側でプラズマ中を流れる電流の方向を同じにし、同一方向の電流の向きを交互に変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5 MHz 以下の同一周波数とするプラズマ処理方法。 30

【請求項 8】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、両電極側でプラズマからの電子とイオンの入射方向を互いに逆向きにし、前記両電極側でプラズマからの電子とイオンの入射方向を交互に変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 9】 請求項 8 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5 MHz 以下の同一周波数とするプラズマ処理方法。 40

【請求項 10】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、一方の電極でイオン入射が行われる間、他方の電極で多くの電子を引き込み、前記イオン入射と電子の引き込みを交互に繰り返し、前記両電極に生じるバイアス電圧波形を負電圧側にシフトさせ、高 50

エネルギーイオン量の多いイオンエネルギー分布にすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 11】 請求項 10 記載のプラズマ処理方法において、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5 MHz 以下の同一周波数とするプラズマ処理方法。

【請求項 12】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、両電極のいずれか一方の電極を常にアース電極として機能させ、プラズマから見て真空容器がアースとなるのを抑制することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 13】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、前記両電極に印加されるそれぞれの高周波電圧によるバイアス電圧の正電圧の値を下げ、プラズマポテンシャルを低くしてアースに接地された真空容器内壁との電位差を小さく、プラズマ中のイオンによる前記真空容器内壁面の衝撃を抑制することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 14】 試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記試料の処理中は前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、処理室内のクリーニング時には前記両電極にそれぞれ同位相となる他の高周波電力を印加することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 15】 内部を所定の減圧雰囲気中に制御される容器と、前記容器内に設けられ試料を配置可能な基板電極と前記基板電極に対向する対向電極と、前記対向電極に接続され前記容器内にプラズマを生成するための高周波電力を印加するプラズマ生成電源と、前記基板電極および対向電極にそれぞれ接続され前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数の低い高周波電力を印加する複数のバイアス電源と、前記複数のバイアス電源の高周波電圧の位相を制御する位相制御器とを具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 16】 請求項 15 記載のプラズマ処理装置において、前記位相制御器は前記両電極にそれぞれ印加される高周波電圧の位相を逆位相に制御するプラズマ処理装置。

【請求項 17】 請求項 15 記載のプラズマ処理装置において、前記位相制御器は前記両電極にそれぞれ印加される高周波電圧の位相を同位相および逆位相に制御するプラズマ処理装置。

【請求項 18】請求項 15 記載のプラズマ処理装置において、前記位相は $0^\circ \pm 45^\circ$ または $180^\circ \pm 45^\circ$ の範囲内で制御されるプラズマ処理装置。

【請求項 19】請求項 18 記載のプラズマ処理装置において、前記位相は $0^\circ \pm 30^\circ$ または $180^\circ \pm 30^\circ$ の範囲内で制御されるプラズマ処理装置。

【請求項 20】請求項 15 記載のプラズマ処理装置において、前記複数のバイアス電源は、5 MHz 以下の同一周波数の高周波電力を出力するプラズマ処理装置。

【請求項 21】請求項 15 記載のプラズマ処理装置において、前記容器内に磁場を形成する磁場発生コイルを有するプラズマ処理装置。

【請求項 22】真空排気装置が接続され内部を減圧可能な処理室と、前記処理室内へガスを供給するガス供給装置と、前記処理室内の設けられ被処理材を載置可能な基板電極と、前記処理室内で前記基板電極に対向して設けられプラズマを発生するための電磁波を放射するアンテナ電極と、前記アンテナ電極に接続されたプラズマ生成用の第 1 の高周波電源と、前記基板電極へ接続された第 2 の高周波電源と、前記アンテナ電極へ接続された第 3 の高周波電源と、前記第 2 の高周波電源および前記第 3 の高周波電源によって印加する高周波電圧の位相を逆位相に制御する位相制御器を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 23】試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、前記両電極を通過する磁力線を有する磁場を形成することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 24】請求項 23 記載のプラズマ処理方法において、前記高周波電力の逆位相の値は前記試料面内のセルフバイアス電圧差が 5 V 以下となる位相に設定されるプラズマ処理方法。

【請求項 25】請求項 23 記載のプラズマ処理方法において、前記高周波電力の逆位相の値は前記試料面内のセルフバイアス電圧差が実質的に 0 V となる位相に設定されるプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプラズマ処理方法及び装置に係り、特にプラズマを用いて半導体素子等の試料の表面処理を行うのに好適なプラズマ処理方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】プラズマを用いてエッチング処理を行う場合、処理ガスを電離し活性化することで処理の高速化を図り、また被処理材に高周波バイアス電力を供給しプラズマ中のイオンを被処理材に垂直に入射させること

で、異方性形状などの高精度エッチング処理を実現している。

【0003】このような処理を行うプラズマ処理装置としては、例えば、特開平 9-321031 号公報 (USP 5,891,252) に記載のように、真空容器外側の外周部に空心コイルを設け、真空容器内に設けた試料台に対向させて円形導体板を設け、円形導体板に UHF 帯電源と第 1 の高周波電源を接続し、試料台に第 2 の高周波電源を接続し、円形導体板に UHF 帯の周波数の電界とその UHF 帯の周波数とは異なる周波数の電界を重畳して供給し、UHF 帯電源による電磁波と空心コイルによる磁場との相互作用による電子サイクロトロン共鳴現象を用いてプラズマを形成し、重畳した第 1 の高周波電源による高周波電圧によって円形導体板にかかるバイアスを大きくして、円形導体板とプラズマとを反応させ、エッチングに寄与する活性種をより多く生成できるようにし、試料台に接続した第 2 の高周波電源によりプラズマ中のイオンの試料への入射エネルギーを制御するものが知られている。

【0004】また、一般に有磁場プラズマ中では、「プラズマ物理学入門」F. F. Chen 著、丸善 1977 に記載のように、磁場に対して垂直方向のプラズマのインピーダンスの方が平行方向のプラズマのインピーダンスに比べて大きいことが知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述のプラズマ処理装置では、被処理材に印加された高周波電力の電気回路が磁場を横切る方向に伝播するので、この磁場に対する垂直方向のプラズマのインピーダンスによって、被処理材面内に電位分布が形成されチャージングダメージを発生させる可能性がある。また、被処理材に入射するイオンエネルギーは、被処理材に供給するバイアス電力によって発生するセルフバイアス電位により決定され、ウェハサイズの大口径化に伴って基板電極に対するアース面積の比率が減少するので、バイアスの印加効率が低下するという問題がある。

【0006】また、従来の装置では、真空容器が接地されており、プラズマが接地されてアース電位となっている真空容器内に広がり、十分に真空容器内の処理部に閉じ込めることができず外周部まで拡散していたため、真空容器内壁のスパッタおよび反応生成物の付着・脱離などが生じ、これにより異物の発生量が増加する可能性があった。

【0007】近年、半導体集積回路の集積度が高まるにつれ、例えば、半導体素子の代表的な一例である MOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタのゲート酸化膜が薄膜化し、ゲート酸化膜が絶縁破壊する (チャージングダメージ) 問題が深刻になりつつある。また、半導体素子の微細化に伴い、加工精度についても SAC (Self Aligned Contact) に代表されるように、マスク

選択比を向上させることが要求されている。また装置内での異物等の発生は歩留まりを低下させかつ装置の稼働率を低下させることから、異物発生量の少ない装置が要求されている。

【0008】本発明の第1の目的は、プラズマ処理におけるチャージングダメージを抑制することのできるプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。

【0009】本発明の第2の目的は、高精度表面処理を行うことのできるプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。

【0010】本発明の第3の目的は、異物発生量を少なくできるプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。

【0011】本発明の第4の目的は、スループットの高いプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加することにより、達成される。

【0013】さらに、前記両電極にそれぞれ印加する逆位相となる他の高周波電力は、 $180^\circ \pm 45^\circ$ の範囲内である。

【0014】また、前記両電極にそれぞれ印加する逆位相となる他の高周波電力は、 $180^\circ \pm 30^\circ$ の範囲内である。

【0015】また、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5MHz以下の同一周波数とするプラズマ処理方法。

【0016】また、前記プラズマは高周波電力と磁場を用いて生成される。

【0017】また上記第1の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、両電極側でプラズマ中を流れる電流の方向を同じにし、同一方向の電流の向きを交互に変化させることにより、達成される。

【0018】さらに、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5MHz以下の同一周波数とする。

【0019】また上記第1の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、両電極側でプラズマからの電子とイオンの入射方向を互いに逆向きにし、前記両電極側でプラズマからの電子とイオンの

入射方向を交互に変化させることにより、達成される。

【0020】さらに、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5MHz以下の同一周波数とする。

【0021】また上記第2の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、一方の電極でイオン入射が行われる間、他方の電極で多くの電子を引き込み、前記イオン入射と電子の引き込みを交互に繰り返し、前記両電極に生じるバイアス電圧波形を負電圧側にシフトさせ、高エネルギーイオン量の多いイオンエネルギー分布にすることにより、達成される。

【0022】さらに、前記両電極にそれぞれ印加する他の高周波電力は、5MHz以下の同一周波数とする。

【0023】また上記第3の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、両電極のいずれか一方の電極を常にアース電極として機能させ、プラズマから見て真空容器がアースとなるのを抑制することにより、達成される。

【0024】また上記第3の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低い他の高周波電力を印加し、前記両電極に印加されるそれぞれの高周波電圧によるバイアス電圧の正電圧の値を下げ、プラズマポテンシャルを低くしてアースに接地された真空容器内壁との電位差を小さく、プラズマ中のイオンによる前記真空容器内壁面の衝撃を抑制することにより、達成される。

【0025】また、上記第4の目的は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記試料の処理中は前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、処理室内のクリーニング時には前記両電極にそれぞれ同位相となる他の高周波電力を印加することにより、達成される。

【0026】また上記これらの目的を達成するため、本発明の態様に従えば、プラズマ処理装置は、内部を所定の減圧雰囲気制御される容器と、前記容器内に設けられ試料を配置可能な基板電極と前記基板電極に対向する対向電極と、前記対向電極に接続され前記容器内にプラズマを生成するための高周波電力を印加するプラズマ生成電源と、前記基板電極および対向電極にそれぞれ接続され前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数の低い高周波電力を印加する複数のバイアス電源と、前記複

数のバイアス電源の高周波電圧の位相を制御する位相制御器を含む。

【0027】上記装置において、前記位相制御器は前記両電極にそれぞれ印加される高周波電圧の位相を逆位相に制御する。

【0028】また、前記位相制御器は前記両電極にそれぞれ印加される高周波電圧の位相を同位相および逆位相に制御する。

【0029】また、前記位相は $0^\circ \pm 45^\circ$ または $180^\circ \pm 45^\circ$ の範囲内で制御される。

【0030】また、前記位相は $0^\circ \pm 30^\circ$ または $180^\circ \pm 30^\circ$ の範囲内で制御される。

【0031】また、前記複数のバイアス電源は、5 MHz以下の同一周波数の高周波電力を出力する。

【0032】また、前記容器内に磁場を形成する磁場発生コイルを有する。

【0033】本発明の他の態様に従えば、プラズマ処理装置は、真空排気装置が接続され内部を減圧可能な処理室と、前記処理室内へガスを供給するガス供給装置と、前記処理室内の設けられ被処理材を載置可能な基板電極と、前記処理室内で前記基板電極に対向して設けられプラズマを発生するための電磁波を放射するアンテナ電極と、前記アンテナ電極に接続されたプラズマ生成用の第1の高周波電源と、前記基板電極へ接続された第2の高周波電源と、前記アンテナ電極へ接続された第3の高周波電源と、前記第2の高周波電源および前記第3の高周波電源によって印加する高周波電圧の位相を互いに逆位相に制御する位相制御器を含む。

【0034】本発明の他の態様に従えば、プラズマ処理装置は、試料を配置する基板電極に対して、対向する電極を設け、前記対向する電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加するとともに、前記両電極にそれぞれ前記プラズマ生成用の高周波電力よりも周波数が低く逆位相となる他の高周波電力を印加し、前記両電極を通過する磁力線を有する磁場を形成する。

【0035】さらに、前記高周波電力の逆位相の値は前記試料面内のセルフバイアス電圧差が5 V以下となる位相に設定される。

【0036】また、前記高周波電力の逆位相の値は前記試料面内のセルフバイアス電圧差が実質的に0 Vとなる位相に設定される。

【0037】本発明のプラズマ処理では、基板電極に印加する高周波と基板電極に対向するアンテナ電極に印加する高周波の位相を制御することにより、プラズマ特性の面内分布に起因する被処理材面内の電位分布を低く抑さえチャージングダメージの発生を抑制できる。また、高周波の位相を制御することにより、被処理材に入射するイオンのエネルギーを調整でき、高アスペクト比のエッチングを可能にしたり、マスク選択比の向上を図れる。これにより、高精度なエッチング処理が可能とな

る。また、高周波の位相を制御することにより、プラズマの拡散を抑制でき、真空容器内壁のスパッタおよび反応生成物の付着・脱離などによる異物の発生量を低減できる。これにより、歩留まり向上および装置のメンテナンス周期を長くでき、スループットの向上を可能とする。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を図1から図5を用いて説明する。図1は、本発明を適用するプラズマ処理装置の一例であるエッチング装置の縦断面図である。真空容器101の上部開口部には、円筒状の処理容器102、導電体となる平板状のアンテナ電極103、電磁波を透過可能な誘電体窓104を気密に設け、内部に処理室を形成している。処理容器102の外周部には処理室を囲んで磁場発生用コイル105が設けられている。アンテナ電極103はエッチングガスを流すための多孔構造となっており、ガス供給装置107が接続されている。また、真空容器101の下部には真空排気口106を介して真空排気装置（図示省略）が接続されている。

【0039】アンテナ電極103上部には同軸線路108が設けられ、同軸線路108、フィルター109、整合器110を介してプラズマ生成用の高周波電源111（例えば、周波数450 MHz）が接続されている。また、アンテナ電極103には同軸線路108、フィルター112、整合器113を介してアンテナバイアス電源114（例えば、周波数800 kHz）が接続されている。ここで、フィルター109は高周波電源111からの高周波電力を通過させ、アンテナバイアス電源114からのバイアス電力を効果的にカットする。フィルター112はアンテナバイアス電源114からのバイアス電力を通過させ、高周波電源111からの高周波電力を効果的にカットする。

【0040】真空容器101内の下部には被処理材116を配置可能な基板電極115が設けられている。基板電極115にはフィルター117、整合器118を介して基板バイアス電源119（例えば、周波数800 kHz）が接続されている。また、基板電極115にはフィルター120を介して被処理材116を静電吸着させるための静電チャック電源121が接続されている。ここで、フィルター117は基板バイアス電源119からのバイアス電力を通過させ、高周波電源111からの高周波電力を効果的にカットする。なお、通常、高周波電力はプラズマ中で吸収されるため基板電極115側へ流れることはないが、安全のためフィルター117を設けている。フィルター120は静電チャック電源121からのDC電力を通過させ、高周波電源111、アンテナバイアス電源114、基板バイアス電源119からの電力を効果的にカットする。

【0041】アンテナバイアス電源114と基板バイア

ス電源 119 は位相制御器 122 に接続されており、アンテナバイアス電源 114 および基板バイアス電源 119 から出力する高周波の位相を制御可能となっている。この場合、アンテナバイアス電源 114 と基板バイアス電源 119 の周波数は同一周波数とした。

【0042】位相制御器 122 は、アンテナバイアス電源 114 側のフィルター 112 と整合器 113 との間および基板バイアス電源 119 側のフィルター 117 と整合器 118 との間からそれぞれ電圧波形を取り込み、位相制御器 122 内でそれぞれの電圧波形の位相が逆相、この場合、 $180^\circ \pm 45^\circ$ 以内の所望の位相差になるように、アンテナバイアス電源 114 と基板バイアス電源 119 とに位相をずらした小振幅の信号を出力する。この場合のアンテナバイアス電源 114 および基板バイアス電源 119 はアンプ機能を有するのみで良い。

【0043】また、位相制御器 122 が、アンテナバイアス電源 114 側のフィルター 112 と整合器 113 との間および基板バイアス電源 119 側のフィルター 117 と整合器 118 との間からそれぞれ電圧波形を取り込み、電力の出力タイミングを支持するトリガー信号のみを出力するものである場合には、アンテナバイアス電源 114 および基板バイアス電源 119 はオシレータ機能を有するものとする。

【0044】上記のように構成された装置において処理室内部を真空排気装置（図示省略）により減圧した後、ガス供給装置 107 によりエッチングガスを処理室内に導入し所望の圧力に調整する。高周波電源 111 より発振された、例えば、周波数 450MHz の高周波電力は同軸線路 108 を伝播し、上部電極 103 および誘電体窓 104 を介して処理室内に導入される。処理室内に導入された高周波電力による電界は、磁場発生用コイル 105（例えば、ソレノイドコイル）により処理室内に形成された磁場との相互作用により、処理室内に高密度プラズマを生成する。特に電子サイクロトロン共鳴を起こす磁場強度（例えば、プラズマ生成用の高周波電源の周波数が 450MHz の場合、160G）を処理室内に形成した場合、効率良く高密度プラズマを生成することができる。また、アンテナバイアス電源 114 より高周波電力（例えば周波数 800kHz）が同軸線路 108 を介してアンテナ電極 103 に供給される。また基板電極 115 に載置された被処理材 116 は、基板バイアス電源 119 より高周波電力（例えば周波数 800kHz）が供給され、表面処理（例えばエッチング処理）される。

【0045】アンテナバイアス電源 114 によってアンテナ電極 103 に高周波電圧を印加することにより、アンテナ電極に所望の材料を用いた場合、該材料とプラズマ中のラジカルとが反応し、生成されるプラズマの組成を制御できる。例えば、酸化膜エッチングの場合、アンテナ電極 103 の材料に Si を用いることによって、酸

化膜のエッチング特性、特に SiO_2/SiN 選択比等に影響するプラズマ中の F ラジカル量を減少させることが可能となる。

【0046】本構成の装置では、450MHz の高周波電源 111 によって主としてプラズマを生成し、アンテナバイアス電源 114 によってプラズマ組成あるいはプラズマ分布を制御し、基板バイアス電源 119 によってプラズマ中のイオンの被処理材 116 への入射エネルギーを制御している。このような装置では、プラズマ生成（イオン量）とプラズマ組成（ラジカル濃度比）を独立に制御できるというメリットがある。

【0047】一般にプラズマ中では、プラズマ特性の面内不均一などの影響により、被処理材に電位分布が形成され、チャージングダメージを発生させる可能性がある。膜厚 4.5nm をもつ半導体素子のゲート酸化膜間電圧では、約 5V 以上の電圧が印加されるとゲート酸化膜の劣化が生じることから、チャージングダメージを抑制するためにはゲート酸化膜間電圧を 5V 以下にすることが必要である。

【0048】図 2 は基板電極 115 とアンテナ電極 103 に印加する高周波電圧の位相とゲート酸化膜間に発生する電圧との関係を示す。図 2 の縦軸はゲート酸化膜間電圧を示し、横軸は高周波電圧の位相を示す。図 2 によれば、位相が 0° 付近においてはゲート酸化膜間電圧は約 6V 程度発生しているが、位相を 180° 付近、すなわち、 $180^\circ \pm 45^\circ$ の範囲以内にすることによりゲート酸化膜間電圧を許容値以下の小さい値に抑制できることが分かる。好ましくは、 $180^\circ \pm 30^\circ$ の範囲以内にすればゲート酸化膜間電圧を約 2V 以下にでき、さらに効果的である。

【0049】基板電極 115 とアンテナ電極 103 に印加する高周波電圧の位相を同位相とした場合と逆位相にした場合の基板電圧波形 301、アンテナ電圧波形 302、プラズマ電位波形 303 の関係をそれぞれ図 3

(a)、(b) に示す。図 3 (a) に示されるように同位相で高周波電力を印加した場合には、基板電圧波形 301、アンテナ電圧波形 302 ともに正弦波的である。また、プラズマ電位波形 303 は正電位側に大きな振幅で振動している。これに対し、図 3 (b) に示されるように逆位相で高周波電力を印加した場合には、両電圧波形 301、302 ともに、電圧波形が負電圧側にシフトするとともに正電圧側で波形が歪み平坦化されている。これにより、プラズマ電位波形 303 も小さな電位のまま平坦化されている。このことから逆位相の場合は、結果として、セルフバイアス電位が大きく、すなわち、同位相の場合に比べセルフバイアス電位が増加していることが分かる。

【0050】これは対向する両電極のアースとしての機能が向上し、十分な電流が対向する電極間で供給されることによるためと考えられる。すなわち、図 4 (a) に

示すように、時間 t_1 におけるアンテナ電極 103 のアンテナ電圧波形 302 は正電位であって、プラズマ中の電子を引き込む時間帯であり、時間 t_2 ではアンテナ電圧波形は負電位であって、プラズマ中のイオンを引き込む時間帯である。これに対し、時間 t_1 における基板電極 115 の基板電圧波形 301 は負電位であって、プラズマ中のイオンを引き込む時間帯となり、時間 t_2 では基板電圧波形 301 は正電位であって、プラズマ中の電子を引き込む時間帯となる。これにより、両電極側ともプラズマ空間において、時間 t_1 では基板電極側に向かって電流 (i_1, i_2) が流れ、時間 t_2 ではアンテナ電極側に向かって電流 (i_3, i_4) が流れるので、基板、アンテナ両電極ともに、正電圧側となる位相のときに十分な電子が供給され負電圧側へシフトする。また、電流方向が同方向となるので、対向する両電極において、常にどちらか一方の電極がアースとして効率良く機能し、プラズマ電位を下げるよう作用して、プラズマ電位が小さい電位で平坦化される。

【0051】一方、図 4 (b) に示すようにアンテナ電圧波形 302 と基板電圧波形 301 とを同位相にした場合には、両電極側のプラズマ空間では互いに電流 (i_1, i_2, i_3, i_4) の向きが反対方向となり、電気回路はアースに接地された処理容器 104 との間で形成され、電流 (i_5, i_6) は処理容器側、すなわち、壁側に流れる。また、図 4 (c) に示すように基板電極 115 への基板電圧波形 301 は図 4 (a) と同様で、アンテナ電極 103 に、例えば、周波数 13.56 MHz のアンテナ電圧波形 302 を印加した場合には、アンテナ電極 103 側にはセルフバイアス電圧 V_{dc} が生じ、常にプラズマ中のイオンが引き込まれる状態となり、時間 t_1 では両電極側に向けて電流 (i_1, i_2) が流れ逆方向となる。このため、両電極ともに処理容器 102 との間で電気回路が形成され、処理容器側から両電極側に向けて電流 (i_5) が流れる。また、時間 t_2 では電流の方向はアンテナ電極 103 に向けて同方向となるが、アンテナ電極側の電流値と基板電極 115 側の電流値との差分 (i_6) が処理容器 102 側へ流れることになる。

【0052】本実施例のように構成された装置では、高周波電流が側壁よりも対向する電極間でより多く流れることから、磁場を横切る方向の電流が減少しチャージングダメージの発生が抑制される。したがって、図 2 に示したように両電極に印加する高周波の位相を 180° 付近にすることによりチャージングダメージの発生を抑制でき、歩留のよい処理を行うことができる。

【0053】図 5 は、両電極に印加する高周波の位相を同位相 (0°) にした場合 (破線 501) と逆位相 (180°) にした場合 (実線 502) の両電極に入射するイオンエネルギーの分布を示す。これによると、逆位相の場合には同位相の場合に比べ、低イオンエネルギーの

量が少なくなり、イオンエネルギーの値がさらに高い方向にシフトし高イオンエネルギーの量が増していることが分かる。被処理材 116 に入射するイオンエネルギーは基板電極 115 に生じるセルフバイアス電位により決定されるが、本実施例では図 3 に示したようにアンテナ電極 103 と基板電極 115 に印加する高周波電力の位相を逆相にすることにより、図 5 に示すように、高イオンエネルギーの量を増やすことができる、言い換えれば、セルフバイアス電位をさらに大きくすることができるので、アスペクト比の高い穴をさらに高アスペクトで加工することができ、高精度のエッチング処理を行うことができる。また、効率的な電力の投入により最適なエッチング形状を得る処理ができる。

【0054】さらに、アンテナ電極 103 と基板電極 115 に印加する高周波電力の位相を制御することによっても、自由にセルフバイアス電位を制御することができ、処理条件の範囲を広げることができる。

【0055】図 6 に基板電極 115 よりも外側で測定したイオン飽和電流密度 601 と高周波電圧の位相との関係を示す。図 6 によれば、基板電極 115 の外側において、印加する高周波電圧の位相が同相の場合にはプラズマ密度が高く、逆相の場合にはプラズマ密度が低いことが分かる。つまり両電極に印加する高周波電圧の位相を 180° 付近にすることにより、常に両電極の一方が効率良くアース電極となるので、プラズマ電位の上昇が抑制され、プラズマと接地された処理容器 102 および真空容器 101 の内壁との電位差が小さくなり、処理容器 102 内に生成されたプラズマが処理容器 102 および真空容器 101 の内壁側に広がるということがないことを示している。言い換えると、プラズマを処理容器 102 内に効率よく閉じ込めることが可能である。

【0056】一般に接地された真空容器 101 および処理容器 102 はプラズマによりスパッタされ、また反応生成物の付着・脱離等により異物の発生源となり、スループット低下の原因となる。しかしながら、本実施例では図 6 に示したように、高周波電圧の位相を 180° 付近にすることにより、プラズマを処理容器内に効率よく閉じ込められることから真空容器 101 に付着する反応生成物を抑制することができ、かつ図 3 (b) に示すようにプラズマ電位 303 の変動を低く押さえることが可能なので、真空容器 101 および処理容器 102 へのイオン衝撃によるスパッタを低減することができる。これより真空容器 101 および処理容器 102 からの異物の発生が低減され、装置のメンテナンス周期を長くでき、スループットを向上させることができる。

【0057】また、本実施例では、磁場発生用コイル 105 によって処理室内にアンテナ電極 103 から基板電極 115 に向かって発散磁場を形成している。これにより、プラズマ中の電子は磁場に拘束されて動くので、一方の電極から流れ出た高周波 (RF) 電流は、処理室側

壁に向かって流れるよりも、対向する電極に向かってより効率的に流れる。このためチャージングダメージに係する基板電極面に生じるセルフバイアス電圧差 (δV_{dc}) を低減することができる。図 7 に磁場発生用コイル 105 による磁場強度を変えたときのバイアス電圧の位相差と、基板電極の中央部と外周部に生じるセルフバイアス電圧の差 ($\delta V_{dc} = \text{中央の } V_{dc} - \text{外周の } V_{dc}$) との関係を示す。図 7 によれば、磁場発生用コイルへ供給する電流値を大きくする、すなわち、垂直方向の成分を大きくすることにより、セルフバイアス電圧差 (δV_{dc}) をゼロ (零) にすることのできるコイル電流値とバイアス電圧位相差とが存在することが分かる。したがって、磁場発生用コイル 105 によって処理室内に形成する磁場に、被処理材 116 に対して垂直方向の成分を多く持たせることによって、対向電極間隔が大きい場合 (例えば、30mm 以上) でも、より効果的にプラズマの拡散を抑制できる。

【0058】また、処理室内の磁場形状において、処理室中央部から外周部に向かって磁場強度が強くなる磁場形状を用いても、プラズマ中の電子は処理室外周に向かって移動しにくくなる。このため、一方の電極から流れ出た高周波 (RF) 電流は、処理室側壁に向かって流れるよりも、対向する電極に向かって流れ、同様の効果を得ることができる。このような磁場は、電磁コイルによるカスプ磁場あるいは永久磁石を用いたカスプ磁場によっても実現できる。

【0059】なお、上述の実施例では、被処理材のプラズマ処理について述べたが、プラズマを用いて装置内壁面のクリーニングを行う場合には、両電極に印加する高周波の位相を 0° 付近 (同相) とすることにより、広範囲にプラズマが拡散され、かつ壁に効率よくイオン衝撃を与えられるので、クリーニング効果を向上させる効果がある。

【0060】また、アンテナ電極 103 と基板電極 115 に印加される逆相又は同相の高周波電圧において、逆相の場合には $180^\circ \pm 45^\circ$ 程度、好ましくは $180^\circ \pm 30^\circ$ 、同相の場合には高周波電圧の位相差が $0^\circ \pm 45^\circ$ 程度、好ましくは $0^\circ \pm 30^\circ$ の範囲内であれば同様の効果が期待できる。

【0061】また、上述の実施例では磁場を用いたエッチング装置を例に述べたが、磁場を有さないエッチング装置又は、エッチング装置以外のアッシング装置、プラズマ CVD 装置など基板電極へ高周波電力を供給する他のプラズマ処理装置においても適用可能である。

【0062】また、上述の実施例では、アンテナ電極 103 と基板電極 115 に印加される高周波電圧の周波数は 800 kHz を例に述べたが、これに限定されるものではなく、シースが抵抗性となる周波数、約 5 MHz 以下の周波数の電源を用いることにより、効果を奏することができる。

【0063】また、上述の実施例では、両電極に印加する高周波電圧の位相を制御するために、フィルター 112、227 と整合器 113、118 との間から電圧信号を取るようにしているが、整合器 113、118 内部の出力部から電圧信号を取るようにしても良い。位相制御用の電圧信号は電極部で検出するのが最良であるが、他の高周波電圧ノイズを除去するために少なくともフィルターを介して検出するのが望ましい。また、アンテナバイアス電源 114 および基板バイアス電源 119 の出力部での高周波電圧と電極 103、115 部での高周波電圧の位相は一致しないので、できるだけ電極に近い側で検出するのが望ましい。

【0064】

【発明の効果】以上、本発明によれば、基板電極と該電極に対向する電極にそれぞれ印加する高周波バイアスの位相を制御することにより、容器内壁との間に流れる電流を少なくでき、プラズマ特性の面内分布に起因する被処理材の面内の電位分布の電位差を小さくでき、チャージングダメージの発生を抑制することができる。これにより、試料の歩留を向上できるという効果がある。

【0065】また、高周波バイアスの位相を制御することにより、被処理材に入射するイオンエネルギーを自由に制御できるので、高精度なエッチング処理が可能になるという効果がある。

【0066】さらに、高周波バイアスの位相を制御することにより、容器内壁部のプラズマ密度および壁へのイオン衝撃を高周波電圧の位相により自由に制御できるので、装置内壁からの異物の発生を低減でき、クリーニング周期を長くできるのでスループットの向上が可能となる。

【0067】また、高周波バイアスの位相を制御することにより、容器内の効率的なクリーニングを実施できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を用いた第 1 の実施例であるエッチング装置を示す縦断面図である。

【図 2】ゲート酸化膜間電圧と高周波電圧の位相差の関係を示す特性図である。

【図 3】基板電極とアンテナ電極に同じ周波数のバイアスを印加した場合の基板電極・アンテナ電極電圧波形図である。

【図 4】基板電極とアンテナ電極に印加する高周波電圧と、プラズマ中のイオンおよび電子の動きとの関係を示す図である。

【図 5】同位相と逆位相のときの電極に入射するイオンエネルギー分布を示す図である。

【図 6】外周部イオン飽和電流密度と位相の関係を示す特性図である。

【図 7】磁場強度を変えたときのバイアス電圧の位相と基板面内のセルフバイアス電圧差との関係を示す図であ

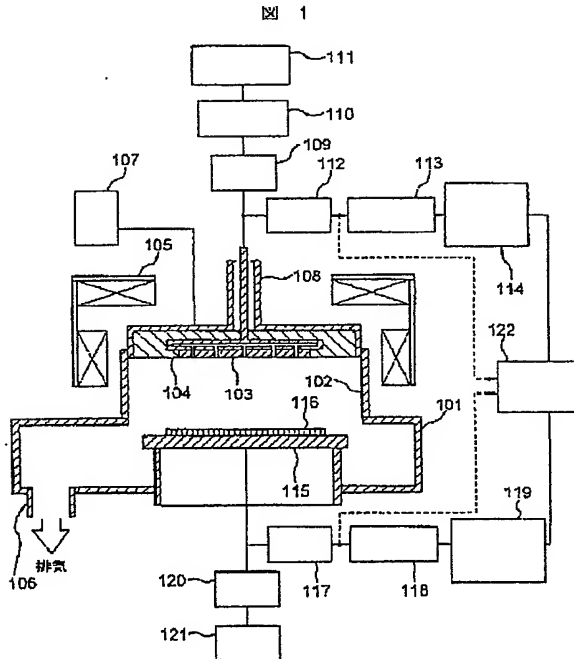
る。

【符号の説明】

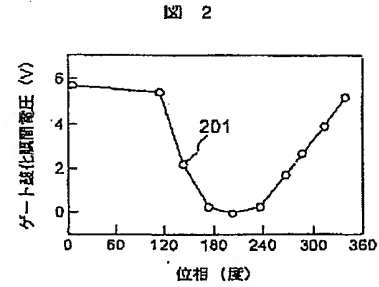
101…真空容器、102…処理容器、103…アンテナ電極、104…誘電体窓、105…磁場発生用コイル、106…真空排気口、107…ガス供給装置、10*

* 8…同軸線路、109、112、117、120…フィルター、110、113、118…整合器、111…高周波電源、114…アンテナバイアス電源、115…基板電極、116…被処理材、119…基板バイアス電源、121…静電チャック電源、122…位相制御器。

【図1】



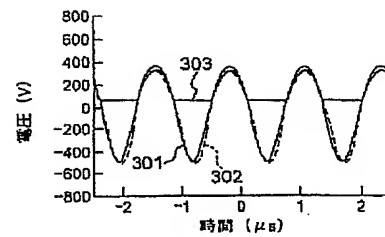
【図2】



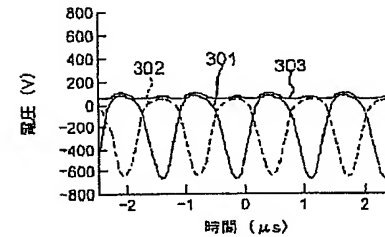
【図3】

図 3

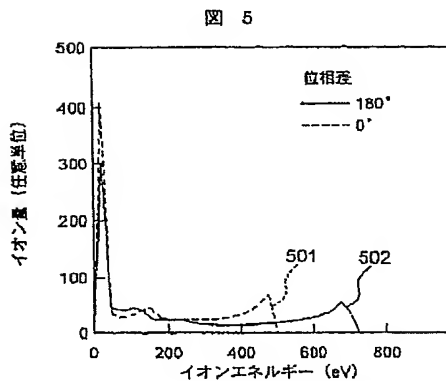
(a)



(b)

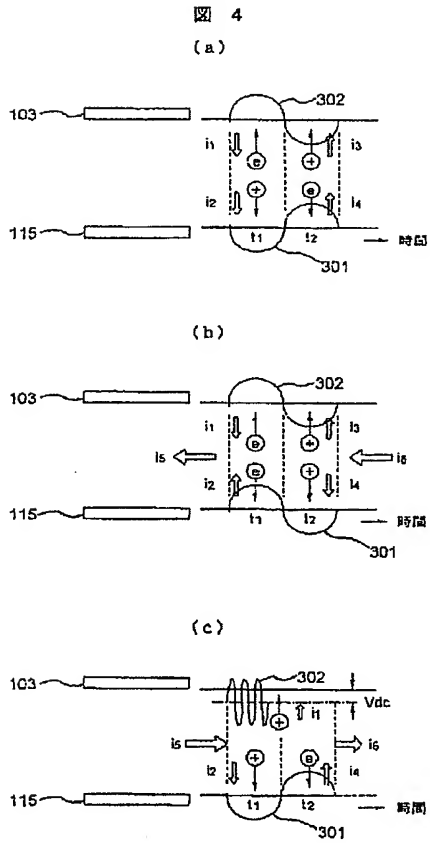


【図5】

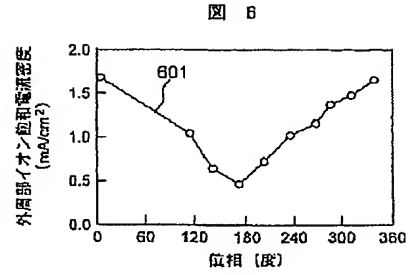


イオンエネルギー分布の位相差依存性

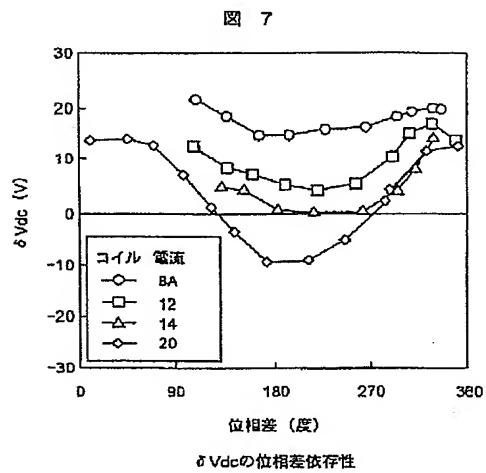
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 成一
山口県下松市大字東豊井794番地 株式会
社日立製作所笠戸事業所内

Fターム(参考) 4G075 AA30 BC06 CA25 CA39 CA47
CA65 DA02 DA18 EB01 EB31
EB42 EC21
5F004 AA02 AA06 AA16 BA09 BA14
BB07 BB13 BB14 BB22 BC08
CA03 CA06